豆蚜实验种群生命表参数的研究

文礼章　陈永年　潘桐
(湖南农学院昆虫学教研室,长沙 410128)

摘要　应用回归旋转组合设计研究了豆蚜 *Aphis craccivora* Koch 的20个实验种群生命表，列出了20种不同温、湿度、光周期组合下豆蚜种群生命表的重要参数(净增殖率 R_0，平均世代周期 T，内禀增长率r_m)及其与温、湿、光周期关系的二次回归模型。温度，湿度，光周期对 R_0，T，r_m 影响的相对大小各依次为72.78(温)，7.38(湿)，19.84(光)%；79.13，10.95，9.92%；85.48，14.52%(光周期对r_m的影响不显著)。使 r_m 最大的温、湿度组合为25℃温度和72%相对湿度。

关键词　豆蚜　生命表参数

豆蚜 *Aphis craccivora* Koch 是一种世界性豆科作物重要害虫，在国内严重为害花生(李元良，1981)、豇豆、扁豆等作物，且能传播40余种植物病毒病(文礼章，1987)。关于温度、湿度和光周期对豆蚜种群生长的影响，国外已有过许多研究 (Gutierrez, 1971; Radke, 1975; Abdel-Malek, 1979)，其结果对于了解豆蚜的生态学特性，预测豆蚜的发生量具有重要的意义。但是，这些研究多局限于单因素单指标影响的定性关系研究，至于豆蚜种群生长与温、湿、光周期间的综合的定量关系研究尚少。本文主要是在前人研究的基础上，应用三因素二次回归旋转设计(茆诗松等，1981)实验方案，建立了不同温、湿、光周期组合下的20个实验种群生命表(略)，对豆蚜孤雌胎生蚜种群的净增殖率，平均世代周期及内禀增长率与温、湿、光周期之间的综合的定量关系进行了研究，并建立了有关经验模型，为豆蚜自然种群的数量预测提供了理论依据。

材料和方法

采自扁豆上无翅孤雌胎生蚜成虫，用叶子圆片法(刘树生，1987)饲养于口径3厘米，高4厘米的圆形塑料杯内让其产仔，然后留下当天产下的新仔1—2头，并移去成虫及多余的仔蚜。在高温(20—30℃)时每天观察2次，在低温时每天观察1次(20℃以下)，记载脱皮和死亡情况。至成虫期每日观察其产仔数，并移去新仔，直至成虫死亡。共20个组合，每组合观察30—200头蚜虫，每组合各建一张生命表，分别求出净增殖率(R_0)，平均世代周期(T)和内禀增长率(r_m)，然后分别建立三者与温度、湿度和光周期间的定量关系模型。环境条件以恒温箱控温，不同浓度甘油控湿，8瓦日光灯控光周期。各温、湿、光周期组合设计及各因子水平编码值见表1。

结果与分析

各温、湿、光周期组合下的实验结果列于表2。

本文于1988年10月收到。

表 1 三因素组合水平及其编码值

实验号	因素水平及其编码值					
	温度(℃)		湿度(%)		光周期(小时/日)	
	编码值 x_1	实际值 TE	编码值 x_2	实际值 RH	编码值 x_3	实际值 PH
1	1	25.9	1	88.6	1	14.4
2	1	25.9	1	88.6	−1	9.6
3	1	25.9	−1	55.4	1	14.4
4	1	25.9	−1	55.4	−1	9.6
5	−1	14.1	1	88.6	1	14.4
6	−1	14.1	1	88.6	−1	9.6
7	−1	14.1	−1	55.4	1	14.4
8	−1	14.1	−1	55.4	−1	9.6
9	1.682	30.0	0	72.0	0	12.0
10	−1.682	10.0	0	72.0	0	12.0
11	0	20.0	1.682	100	0	12.0
12	0	20.0	−1.682	44	0	12.0
13	0	20.0	0	72.0	1.682	16.0
14	0	20.0	0	72.0	−1.682	8.0
15	0	20.0	0	72.0	0	12.0
16	0	20.0	0	72.0	0	12.0
17	0	20.0	0	72.0	0	12.0
18	0	20.0	0	72.0	0	12.0
19	0	20.0	0	72.0	0	12.0
20	0	20.0	0	72.0	0	12.0
x_i	$x_1=\frac{TE-20}{5.9}$		$x_2=\frac{RH-72}{16}$		$x_3=\frac{PH-12}{2.4}$	

一、回归模型及显著性检验

三因素二次回归基本模型为:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2$$

通过表 3 回归方程的 F 检验和表 4 回归系数的 t 检验且剔除不显著项后分别得平均世代周期（T）和内禀增长率（r_m）的二次回归模型为

$$\hat{T} = 7.73(1 + e^{f(x)}) \quad (1)$$

其中 $f(x) = 0.72x_1 + 0.0995x_3 + 0.105x_1x_3 - 0.18x_2x_3 + 0.115x_1^2 - 0.32943$

$$\hat{r}_m = 0.04939x_1 - 0.0294x_1^2 - 0.01338x_2^2 + 0.19522 \quad (2)$$

在式(1)，(2)中，$x_1=\frac{TE-20}{5.9}$，$x_2=\frac{RH-72}{16}$，$x_3=\frac{PH-12}{2.4}$，TE, RH, PH 分别代表温度(℃)，湿度(%)和光周期(小时/日)，即 x_1, x_2, x_3 分别为 TE, RH, PH 的编码值。

据表 3 可知，方程式(1)的失拟项显著性检验 $F_1 = 1.3 < F_{0.05}(5,5) = 5.05$，方程显著性检验 $F_2 = 55.98^{**} > F_{0.01}(9,10) = 4.95$；方程式(2)的 $F_1 = 2.083 < F_{0.05}(5,5) = 5.05$，$F_2 = 13.08^{**} > F_{0.01}(9,10) = 4.95$，所以两个回归方程式都是高度拟合和高度显

表 2 各温、湿、光周期组合下豆蚜实验种群生命表重要值

实验号	净增殖率 (R_0)		平均世代周期 (T)		内禀增长率 (r_m)	
	观察值 (R_0)	理论值 ($\hat{R}_0$)	观察值 (T)	理论值 ($\hat{T}$)	观察值 (r_m)	理论值 ($\hat{r}_m$)
1	8.01	8.82	10.97	10.84	0.1897	0.20080
2	6.41	8.56	11.09	10.69	0.1676	0.20080
3	8.89	11.56	11.55	12.19	0.1892	0.20080
4	10.77	7.16	9.51	9.80	0.2499	0.20080
5	5.14	6.52	17.16	18.38	0.0955	0.10202
6	14.10	10.62	21.52	23.16	0.1228	0.10202
7	7.82	10.44	21.50	22.99	0.0956	0.10202
8	8.04	6.60	18.27	18.49	0.1141	0.10202
9	7.41	7.02	10.60	10.02	0.1991	0.19447
10	1.50	2.45	37.91	33.57	0.0171	0.02704
11	7.44	7.77	12.19	13.29	0.1643	0.15424
12	6.63	7.77	14.02	13.29	0.1350	0.15424
13	14.01	16.31	14.54	14.30	0.1816	0.19521
14	13.89	11.32	12.69	12.43	0.2072	0.19521
15	10.80	13.39	13.56	13.29	0.1754	0.19521
16	15.10	13.39	12.69	13.29	0.2139	0.19521
17	11.90	13.39	13.92	13.29	0.1780	0.19521
18	18.10	13.39	14.86	13.29	0.1949	0.19521
19	19.18	13.39	13.85	13.29	0.2133	0.19521
20	16.27	13.39	13.62	13.29	0.2049	0.19521
χ^2 值	$\chi^2=\Sigma[(R_0-\hat{R}_0)^2/\hat{R}_0]$ $=12.6<\chi^2_{0.8}(19)$ $=13.716$		$\chi^2=\Sigma[(T-\hat{T})^2/\hat{T}]$ $=1.37<\chi^2_{0.99}(19)$ $=7.633$		$\chi^2=\Sigma[(r_m-\hat{r}_m)^2/\hat{r}_m]$ $=0.041<\chi^2_{0.99}(19)$ $=7.633$	

表 3 豆蚜生命表各重要值 (r_m, T) 回归方程显著性检验

重要值	变异来源	平方和 (SS)	自由度 (df)	均方 (V)	F 值 (F)	临界值 (F_α)
内禀增长率 (r_m)	回归剩余	0.05242	9	0.005824	$F_2=13.08^{**}$	$F_{0.01}(9,10)=4.95$
		0.004454	10	0.0004454		
	误差失拟	0.001445	5	0.000289	$F_1=$ 失拟均方/误差均方 $=2.083$	$F_{0.05}(5,5)=5.05$
		0.003009	5	0.000602		
	总 计	0.05687	19			
平均世代周期 (T)	回归剩余	7.91	9	0.8789	$F_2=55.98^{**}$	$F_{0.01}(9,10)=4.95$
		0.157	10	0.0157		
	误差失拟	0.0683	5	0.01366	$F_1=1.30$	$F_{0.05}(5,5)=5.05$
		0.0889	5	0.01778		
	总 计	8.07	19			

表 4 豆蚜生命表重要值（r_m,T）回归方程中各回归系数显著性检验（t 测验法）

自变量		x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2
回归系数		b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
$t^{\otimes}$ 值	r_m	8.65**	0.31	1.86	1.51	0.12	1.24	5.29**	2.41*	1.05
	T	21.2**	0.47	2.93*	1.63	2.36*	4.07**	3.48**	1.88	1.53
$t_\alpha(10)$		$t_{0.05}(10)=2.228$, $t_{0.01}(10)=3.169$								

⊗ t 值的计算方法见茆诗松等，1981«回归分析及其试验设计»。
* 表示 0.05 水准上显著。
** 表示0.01水准上显著。（表 3 和表 4 同）。

著的。

表 4 结果表明，方程式(1)，(2)中各回归系数在 0.05 或 0.01 水平上显著，所以，用它们分别描述豆蚜种群平均世代周期 T 及内禀增长率 r_m 与温、湿、光周期间的定量关系是可靠的。

根据 $r_m=\frac{\ln R_0}{T}$ (Leslie-Birch, 1948, 1949; 林昌善，1964)关系式可得 $R_0=e^{r_mT}$，因此，R_0 的估计值

$$\hat{R}_0=e^{\hat{r}_m\hat{T}} \tag{3}$$

在方程式(3)中，$\hat{T}$和 $\hat{r}_m$ 分别由方程式(1)、(2)估出。若直接配 R_0 与温、湿、光周期关系的二次回归模型，则模型在 0.25 水平上仍不显著，且拟合程度亦很差。而采用此法配得的模型（方程式）(3) 经 χ^2 适合性检验表明，理论值与实测值的拟合程度相当好，即 $\chi^2=\Sigma(R_0-\hat{R}_0)^2/\hat{R}_0=12.60<\chi^2_{0.8}(19)=13.716$ (表 2)。

二、温、湿度、光周期的主次作用

将 $\hat{T}$,$\hat{r}_m$, $\hat{R}_0$ 的编码值方程(1)、(2)、(3)中各回归系数分别进行归一化处理后，比较各因子对各指标的作用大小，结果表明，温度对三个指标的影响都是第一位的，分别占 85.48% (r_m), 72.78%(T) 和 79.13% (R_0)，其后依次为湿度，分别占 14.52 (r_m), 7.38 (T)和10.95 (R_0)%，光周期，分别占 0 (r_m), 19.84(T) 和 9.92(R_0)%。但光周期对 T 的影响(19.84%)大于湿度的影响(7.38%)。光周期虽然对 T 和 R_0 均有显著影响，但对 r_m 的影响却不显著，这是因为光周期对 T 和 R_0 二者的影响在 r_m 方程中相互抵消所致。所以，在预测豆蚜孤雌胎生蚜种群内禀增长率 (r_m) 时，不必考虑光周期的变化，见方程式(2)。

三、内禀增长率 (r_m) 的最佳温、湿度组合

对方程式(2)中 $\hat{r}_m$ 求极值，可求得当 $x_1=0.83997$ (即 $TE=25$℃), $x_2=0$ (即 $RH=72\%$)时，$\hat{r}_m$ 有极大值，且极大值 $(\hat{r}_m)_{max}=0.2160$。所以，25℃ 温度和 72% 相对湿度是豆蚜种群数量增长的理论最佳温、湿度组合。

四、预测值 $\hat{r}_m$ 和 $\hat{T}$ 的方差估计

在回归旋转设计中，回归方程预测值 $\hat{y}$ 的方差 $D(\hat{y})$ 公式是

$$D(\hat{y}) = \hat{\sigma}^2[K + (e^{-1} + 2E)\rho^2 + F\rho^4] \quad (4)$$

当因素 $P = 3$ 时，方程式(4)中 $K = 0.1663, F = 0.0694, E = -0.0568, e = 13.658$。本文是三因素二次旋转设计，所以

$$D(\hat{y}) = \hat{\sigma}^2(0.1663 - 0.0404\rho^2 + 0.0694\rho^4) \quad (5)$$

在式(5)中，$\hat{\sigma}^2 \approx S_{剩}/f_{剩}$，而 ρ 为旋转设计球体的半径（即各因素水平编码值的绝对值）。

根据表 3 结果应用式(5)可求得豆蚜内禀增长率（$\hat{r}_m$）和平均世代周期（$\hat{T}$）中指数项 $f(x)$，见式(1)的方差分别为

$$D(\hat{r}_m) = 0.0004454(0.1663 - 0.0404\rho^2 + 0.0694\rho^4) \quad (6)$$

$$D(f(x)) = 0.0157(0.1663 - 0.0404\rho^2 + 0.0694\rho^4) \quad (7)$$

继而可推得 r_m 和 T 预测值 95% 的置信区间分别为

$$r_m = \hat{r}_m \pm 1.96\sqrt{D(\hat{r}_m)} \quad (8)$$

$$T = \hat{T}(f(x) \pm 1.96\sqrt{D(f(x))}) = 7.73\,(1 + e^{f(x)\pm 1.96\sqrt{D(f(x))}}) \quad (9)$$

在式(8)中，$\hat{r}_m$ 和 $D(\hat{r}_m)$ 分别由式(2)和式(6)估出；在式(9)中，$f(x)$ 和 $D(f(x))$ 分别由式(1)和式(7)估出。

值得指出的是，在通用旋转设计中，$D(\hat{y})$ 在 $0 < \rho < 1$ 区间内基本保持一个常数（茆诗松，1981），但当 ρ 超过 1 时，方差 $D(\hat{y})$ 随着 ρ 值的增大而不断增大，即 ρ 值越大，预测值的误差亦越大。

五、$\hat{r}_m$ 及 $\hat{T}$ 模型(方程)的回代结果

将表 1 中各实验组合的编码值分别代入模型(1)、(2)即得各组合下平均世代周期 T 和内禀增长率 r_m 的理论值 $\hat{T}$ 和 $\hat{r}_m$，并列入表 2 与相应的实际值 T 和 r_m 进行比较，结果表明，理论值与实际值是非常吻合的。如用 χ^2 拟合法进行适合性检验，则 $T - \hat{T}$ 的 χ^2 值为 $1.33 < \chi^2_{0.99}(19) = 7.633$；$r_m - \hat{r}_m$ 的 χ^2 值为 $0.041 < \chi^2_{0.99}(19) = 7.633$（表 2）。

讨　论

本文根据"无限环境"条件下的实验结果所建的豆蚜内禀增长率 r_m，平均世代周期 T 及净增殖率 R_0 与温、湿、光周期之间的关系模型基本上反映了豆蚜孤雌胎生蚜与温、湿、光周期关系的内在规律，它不仅可用来较准确地模拟豆蚜实验种群数量的增长趋势，而且对自然种群发生量的预测亦有重要的参考价值。还可用田间调查资料来评价天敌效果或寄主的抗性或其他因子(如雨量)的作用大小。例如，当温、湿度非常适合豆蚜发生，但田间寄主植物上豆蚜数量却很少，或突然减少时，这就可以考虑天敌的作用，作物的抗性、或其他因子的制约作用，从而进一步考察优势种天敌和抗蚜品种。

参　考　文　献

文礼章　1987　国外豆蚜研究概述。植物保护　13(13)：47—9。
刘树生　1987　介绍一种饲养蚜虫的方法——新的叶子圆片法。昆虫知识　24(2)：113—6。
茆诗松等　1981　回归分析及其试验设计。华东师范大学出版社。
Abdel-Malek, A. A. et. 1979 Ecological Studies on *Aphis craccivora* Koch: I. Photoperiod as extrinsic factor

regulating the biology of *Aphis craccivora* Koch. *Bulletin of the Faculty of Science.* Cairo University No, 48, 293—9.

Gutierrez, A. P. et. 1971 The ecology of *Aphis cracci vora* Koch and subterranean clover stunt virus. *J. appl. Ecol.* 8: 699—721.

Radke, S. G. et. 1975 Effect of temperature and light on the development of cowpea aphid, *Aphis craccivora* Koch. *Indian Journal of Entomology.* 35(2): 107—18.

Radke, S. G. et. al. 1975 Influence of relative humidities on the development and reproduction of cowpea aphid. *Aphis craccivora* Koch. *Indian Journal of Entomology.* 35(3): 187—97.

A STUDY ON THE LIFE TABLE PARAMETERS OF *APHIS CRACCIVORA* KOCH POPULATIONS

WEN LI-ZHANG　CHEN YONG-NIAN　PAN TONG

(Department of Agronomy, Hunan Agricultural College, Changsha 410128)

The twenty experimental population life tables of *Aphis craccivora* Koch were studied by regression rotational combinatorial design and the essential parameters for investigation included net reproduction rate (R_0), average time of a generation (T) and innate capacity for increase (r_m) at different temperature (TE), relative humidity (RH) and photoperiod (PH). Quadratic regression models were developed on the relationship between R_0, T and r_m, and also in reference to TE, RH and PH. The relative order of single effects of TH, RH and PH on T is found to be 72.78%, 7.38% and 19.84% respectively; on R_0, 79.13%, 10.95% and 9.92% respectively; and on r_m, 85.48% for TH and 14.52% for RH. Maximal r_m (0.216) occurred at TH=25°C and RH=72%, according to simulation of the model.

Key words *Aphis craccivora* Koch——life table parameter